Arbeiten des pflanzenphysiologischen Institutes der k. k. Wiener Universität.

XIII. Untersuchungen über die Entstehung der Chlorophyllkörner.

Von Dr. **Karl Mikosch.**

Assistent am pflanzenphysiologischen Institute der k. k. Wiener Universität.

Einleitung.

In der umfassenden Arbeit Professor Wiesner's „Über die Entstehung des Chlorophylls", wurde die Vermuthung ausgesprochen, dass es die Kohlenhydrate, in erster Linie die Stärke, im Allgemeinen die Reservestoffe sind, welche das Material zur Bildung des Etiolins, beziehungsweise Chlorophylls hergeben.[1] Dieselbe Bedeutung bei der Chlorophyllbildung legte auch Sachse den Kohlenhydraten bei.[2]

Wenn man von diesem Gesichtspunkte aus die Entstehung des Chlorophyllkorns als eines aus dem Plasma hervorgehenden Gebildes betrachtet, so ist es nicht unwahrscheinlich, dass ausser der Beziehung zwischen Kohlenhydraten und dem gelben, respective grünen Farbstoff noch eine solche zwischen ersteren und dem organisirten Träger des letzteren bestehe, zumal diese Ansicht schon in früherer Zeit mit voller Bestimmtheit ausgesprochen wurde. Es hatte nämlich Mulder, gestützt auf eigene und die später noch zu besprechende Beobachtungen Mohl's die Behauptung aufgestellt, dass ein Chlorophyllkorn durch directe Metamorphose eines Stärkekorn's entstehe.[3] Mulder

[1] Entstehung des Chlorophylls in der Pflanze, Wien 1877, pag. 114.

[2] Chemie und Physiologie der Farbstoffe, Leipzig 1877, pag. 7, 8, 56—61.

[3] Versuch einer physiologischen Chemie , Braunschweig 1844, pag. 300.

kannte noch nicht die protoplasmatische Grundlage des Chlorophyllkorns. Er unterscheidet, entsprechend der unter den früheren Physiologen herrschenden Ansicht, an jedem Chlorophyllkorn einen wachsartigen Körper und das reine Chlorophyll, das ersteren tingirt, und er nimmt an, dass beide Körper aus Amylum unter gleichzeitigem Hinzutreten einer stickstoffhältigen Verbindung erzeugt werden. Mulder's Irrthum über die chemische Natur des Farbstoffträgers wurde von Mohl erkannt, der zuerst auf die protoplasmatische Grundsubstanz des Chlorophylls hinwies; Mohl's Beobachtungen wurden von Sachs bestätigt, und diese Frage also endgiltig gelöst. In Bezug auf die Entstehung des Farbstoffes selbst blieb aber die Frage offen, bis sie erst von Wiesner wieder aufgenommen, ihrer richtigen Beantwortung zugeführt worden war, indem letzterer zeigte, dass die Muttersubstanz des Chlorophylls das Etiolin ist, und letzteres wahrscheinlich aus den Reservestoffen gebildet wird.

Von diesem Standpunkte ausgehend, unternahm ich es, im vorigen Jahre auf Anregung des Herrn Professor Wiesner die Entstehung der Chlorophyllkörner in mit Reservestoffen gefüllten Organen, also hauptsächlich in Keimblättern und Primordialblättern, einem eingehenden Studium zu unterziehen, und theile im Folgenden meine Beobachtungen darüber mit.

Bevor ich jedoch zur Darlegung dieser selbst übergehe, dürfte es noch zweckentsprechend sein, die über Entstehung der Chlorophyllkörner vorliegenden Arbeiten zu besprechen, zumal da einige derselben Beobachtungen enthalten, die die Richtigkeit des von mir Gesehenen bestätigen helfen.

Ich sehe von den Behauptungen, welche von Mohl's Vorgängern über die Entstehung und die innere Zusammensetzung der Chlorophyllkörner aufgestellt wurden, ganz ab, da denselben heute nur historischer Werth beizumessen ist. Wie schon oben erwähnt, hatte erst Mohl die wichtigen, anfangs von ihm nur mit Vorsicht ausgesprochenen Thatsachen festgestellt, dass die Grundmasse des Chlorophyllkorns protoplasmatischer Natur ist, und ferner, dass ersteres in wechselndem Verhältnisse Amylum führt.[1] Letzteren Punkt betreffend, schreibt dieser umsichtige

[1] Vermischte Schriften, 1837, pag. 358—361.

Forscher: „Da wir in den ausgebildeten Chlorophyllkörnern immer einen oder mehrere Amylumkerne und eine gallertartige Hülle finden, so entsteht die Frage, welcher dieser Theile der ursprüngliche ist, ob sich die Amylumkörner zuerst bilden, und die Hülle sich erst später um dieselben anlegt, oder ob der umgekehrte Vorgang stattfindet.“ Der Umstand, dass Mohl in den jungen Endzellen von *Conferva glomerata* nie Stärke, wohl aber Chlorophyll auffinden konnte, bestimmte ihn, in der um einige Jahre später veröffentlichten „vegetabilischen Zelle“ anzunehmen, dass das Amylum nicht nothwendig in ursächlichem Zusammenhang mit dem Chlorophyll stehe, sondern dass die mit dem Chlorophyll verbundene Proteinsubstanz bald für sich bestimmte Formen annehme, bald, wenn Amylumkörner vorhanden sind, sich auf diese niederschlage.[1] Was dann weiter mit dem Amylum geschieht, erwähnt Mohl nicht. Von demselben Gesichtspunkte betrachtet Mohl in einer in der botanischen Zeitung 1855 erschienenen Abhandlung „Über den anatomischen Bau des Chlorophylls“ die Entstehung des Chlorophyllkorns. Er hebt dort ausdrücklich hervor, dass, wenn auch eine directe Umwandlung von Amylumkörnern in Chlorophyllkörner nicht stattfindet, denn doch in sehr vielen Fällen das Amylum früher vorhanden ist; um letzteres sammelt sich dann das Chlorophyll wie um einen Kern an; in anderen Fällen ist wieder das Chlorophyll das primäre, das Amylum das secundäre.[2]

Mohl legt also schon für gewisse Fälle dem Stärkekorn eine weitgehende Bedeutung für die Bildung des Chlorophyllkorns bei; in welcher Art aber ein Zusammenhang stattfindet, erklärt er nicht.

Sonderbarer Weise wird der erste Fall der Entstehungsarten der Chlorophyllkörner von späteren Forschern gar nicht berücksichtigt. Es werden einfach alle Stärkeeinschlüsse im Chlorophyllkorn als Assimilationsproducte aufgefasst. So gibt Gris an, dass in den jungen Blättern von *Aucuba japonica* in einer um den Zellkern sich ansammelnden grün gefärbten Plasmamasse Stärkekörner entstehen, um welche sich dann erstere

[1] Vegetabilische Zelle, pag. 205.

[2] Botanische Zeitung, 1855, pag. 115.

niederschlägt, worauf dann erst ein Zerfall in Chlorophyllkörner sich einstellt.[1] Es ist also nach Gris das grün gefärbte Plasma das primäre, während die Stärkekörner erst nachher darin entstehen.[2] Gris will die Chlorophyllkörner ihrer Entstehung nach in genetische Beziehung zum Zellkern bringen; es soll sich, seinen Beobachtungen zu Folge, eine von dem Zellkern ausgehende grüne Gallerte über die Zellwand ausbreiten, oder die Gallerte sich nur wenig oder gar nicht vom Kern entfernen; sie theilt sich später in polyedrische oder sphärische Massen. Gris's Ansichten wurden von Sachs widerlegt, welcher darauf hinwies, dass bei chlorophyllhaltigen Zellen mancher Kryptogamen und bei allen von ihm untersuchten Blättern phanerogamer Pflanzen mit von Anfang an wandständigen Chlorophyllkörnern keine Beziehung zum Zellkern bestehen könne. Für die Entstehung letzterer beschreibt Sachs folgenden Vorgang: Der zum Zerfall in wandständige Chlorophyllkörner bestimmte Plasmabeleg ist schon im ruhenden Samen vorhanden; bei der Keimung wird er gelb und zerfällt entweder unter gleichzeitigem oder nachfolgendem oder vorhergehendem Ergrünen in dicht beisammenliegende Körner; bleibt die Keimpflanze im Dunkeln, so hat man farblose (gelbe) Chlorophyllkörner, immer ohne Stärke, vor sich; letztere bildet sich erst im vollkommen ausgebildeten ergrünten Chlorophyllkorn.[3]

Sachs machte seine Beobachtungen an Kotylen von *Helianthus*, *Cucurbita*, den Primordialblättern von *Phaseolus*, *Vicia Faba*, und wies an diesen Objecten nach, dass die Differenzirung des Plasma in Körner unabhängig vom Lichte sei, dass aber das

---

[1] Recherches microscopiques sur la Chlorophylle. Ann. d. sc. nat. IV, 7, pag. 205. La formation des grains peut resulter du développement de gros noyaux d'amidon, qui s'enveloppent de gelée verte et s'isolent peu à peu (Aucuba).

[2] Ich habe Blätter derselben Pflanze in ganz jungem Zustand untersucht und gefunden, dass der Zellkern in einer farblosen Plasmamasse eingebettet liegt, in der schon jetzt Stärkekörner vorkommen, bei weiterer Entwicklung ergrünt das Plasma und zerfällt in einzelne Portionen, deren jede ein Stärkekorn enthält. Letzteres kann also nicht secundär sein, wie Gris angibt.

[3] Flora 1862, pag. 134; botanische Zeitung 1862, p. 365—369, Experimentalphysiologie, pag. 317.

Licht einen beschleunigenden Einfluss auf diesen Vorgang auszuüben vermag. Was die Stärkeeinschlüsse im Chlorophyllkorn betrifft, bemerkt Sachs Folgendes:[1] „Die später auftretenden Stärkeeinschlüsse haben mit der Entstehung der Chlorophyllkörner gewöhnlich absolut nichts zu thun, sie sind vielmehr ein Product der Lebensthätigkeit derselben, zu dessen Erzeugung sie durch den Einfluss des Lichtes angeregt werden. Ausnahmsweise und in Organen, die ursprünglich zur Chlorophyllbildung nicht bestimmt sind, wie bei den am Licht liegenden Kartoffeln, kann es vorkommen, dass sich früher farbloses Protoplasma um Stärkekörner herumlagert, sie einhüllt und dabei selbst ergrünt; derartige Formen sollte man, wenn ihre Entstehung wirklich diese ist, als falsche oder nachahmende Chlorophyllkörner unterscheiden.“ Dass ein echtes Chlorophyllkorn aus einem solchen falschen entstehen könne, wie Mohl schon angibt, bestreitet also Sachs; des Letzteren Ansicht wurde fast allgemein angenommen, und die Frage über Entstehung der Chlorophyllkörner als abgeschlossen betrachtet. Erst in jüngster Zeit wurde dem Gegenstande wieder einige Aufmerksamkeit zugewendet. Es hatte G. Haberlandt gleichzeitig mit meinen hier mitzutheilenden Beobachtungen die Entstehung der Chlorophyllkörner in den Keimblättern der Bohne verfolgt und er gelangte zu dem Resultate, dass hier echte Chlorophyllkörner in der bereits von Mohl angegebenen Weise, nämlich durch Umhüllung von Stärkekörnern mit ergrünendem Plasma entstehen können.[2] Die Stärkeeinschlüsse beginnen sich aufzulösen, und nach einiger Zeit hat man ganz normale echte Chlorophyllkörner vor sich, die sich theilen und späterhin auch assimilirende Thätigkeit entwickeln. Haberlandt untersuchte auch etiolirte Kotylen der Bohne und fand, sowie bei ergrünten, das gelbe Plasma sich um die Stärkekörnchen ansammeln, also Etiolinkörner mit Stärkeeinschlüssen.

Dass die Stärkeeinschlüsse in den Chlorophylkörnern nicht immer erst secundäre Bildungen seien, wurde schon früher wiederholt von einigen Forschern beobachtet. Ich verweise auf

---

[1] Experimentalphysiologie, pag. 315.

[2] Botanische Zeitung, 1877, pag. 378.

die von A. Weiss in den Haaren von *Cucurbita* beschriebene Art der Bildung der Chlorophyllkörner.[1] Ferner findet man in Hofmeister's „Pflanzenzelle" angegeben, dass die Substanz mancher Chlorophyllkörper sich bei deren erster Entstehung umgeformte Inhaltskörper der Zelle ballt; so bei *Caulerpa prolifera* um Amylumkörner.[2] Hieher gehört auch Wiesner's Beobachtung über die Entstehung des Blattgrün in den Geweben von *Neottia nidus avis*.[3] Wiesner fand einzelne Stärkekörnchen, die sich blassbraun färben; diese schwinden nach und nach und es bleibt ein braunes Farbstoffkörperchen zurück, das sich auf Zusatz von Weingeist grün färbt. Ich erinnere endlich an die gänzlich in Vergessung gerathenen Untersuchungen Hartig's, denen zufolge eine Umwandlung von Stärke in Chlorophyll ausser in den Kotylen von *Phaseolus*, auch in denen der *Coniferen*, von *Fraxinus*, *Lupinus* und einiger anderer stattfindet.[4]

Eigene Beobachtungen.

Ich untersuchte zunächst Kotylen; war die Voraussetzung, von der ich bei meinen Untersuchungen ausging, richtig, so musste an diesen mit Reservestoffen gefüllten Organen eine Beziehung zwischen ersteren und dem Chlorophyllkorn am ehesten erkannt werden. Bekanntlich führen die Kotylen entweder schon im Ruhezustande Stärke, oder es wird ihnen diese erst während der Keimung vom Endosperm zugeführt, oder endlich der ganze Same ist im Ruhezustand stärkelos; die Stärke wird dann erst in der keimenden Pflanze aus dem als Reservesubstanz functionirenden Öl neu gebildet.

Während in den beiden ersteren Fällen die Stärke immer in Körnerform auftritt, ist es nicht selten bei ölhaltigen Kotylen, dass die Stärke formlos bleibt, d. h. in Gestalt sehr kleiner, im Plasma fein vertheilter Körnchen, deren Stärkenatur sich nie direct mit wässeriger oder alkoholischer Jodlösung nachweisen

---

[1] Sitzungsberichte der k. Akademie der Wissenschaften, 54. Bd., 1. Abth., Juli-Heft, pag. 5.

[2] Pflanzenzelle, pag. 373.

[3] Pringsheim's Jahrb. für wissensch. Bot., 8. Bd., pag. 576 u. 579.

[4] Entwicklungsgesch. d. Pflanzenkeims, pag. 107, 130, 138, 141, 145.

lässt, wohl aber nach Vorbehandlung mit Kalilauge und Essigsäure oder, wie ich mich in vielen Fällen überzeugte, direct mit verdünnter Chlorzinkjodlösung, wodurch, in den ersten Minuten der Einwirkung, die Zellwände sich nicht, aber Stärke, in welcher Form sie auch auftreten mag, immer blau färbt.

Ich führe diese ja schon längst bekannten Thatsachen über Vorkommen der Stärke hier nur desshalb an, weil meine Beobachtungen lehrten, dass die Form der in den Kotylen vorkommenden Stärke bestimmend für die Entstehungsweise der Chlorophyllkörner daselbst ist.

I.

In schon von Anfang an stärkehaltigen Kotylen wurde die Entstehung der Chlorophyllkörner bereits von G. Haberlandt beschrieben und zwar speciell für die Keimblätter der Bohne (*Phaseolus multiflorus* und *vulgaris*). Haberlandt's Beobachtungen bestätige ich vollkommen, und es wird daher hier wohl genügen, wenn ich erinnernd an die darüber vorliegende Abhandlung (l. c.) in Kürze den Verlauf der Chlorophyllkornbildung in den Kotylen von *Phaseolus multiflorus* beschreibe. In der unterhalb der Epidermis liegenden Zellenlage entstehen ganz kleine, zusammengesetzte Stärkekörner; die Anzahl der Theilkörner beträgt 8—15. Nach einiger Zeit erscheinen diese Stärkekörnchen mit einem schwachen Stich ins Gelbliche, der, wenn die Kotylen dem Lichte ausgesetzt sind, bald grün wird. Das Stärkekorn hat sich mit gefärbtem Plasma umgeben, es ist ein falsches Chlorophyllkorn geworden. Hierauf treten die einzelnen Theilkörner innerhalb der Plasmahülle auseinander, es schiebt sich grünes Plasma zwischen sie; der Stärkeeinschluss beginnt nun zu schwinden und verliert sich endlich gänzlich, so dass man dann ein echtes Chlorophyllkorn an Stelle des früheren Stärkekorns vor sich hat. Ersteres geht Theilungen ein und vermag auch zu assimiliren. Lässt man Kotylen im Dunkeln sich entwickeln, so tritt derselbe Gestaltungsprocess ein, natürlich bleibt das Plasma gelb gefärbt; man hat dann Etiolinkörner mit Stärkeeinschlüssen. Auf dieselbe Weise entstehen auch in den Kotylen der Erbse die Chlorophyllkörner, hier ist es aber ein einfaches Stärkekorn, das sich mit einer grünen Plasmahülle

umgibt. Ebenda machte ich noch folgende interessante Beobachtung: Ich liess Erbsenkeimlinge im Gaslicht sich entwickeln,[1] Primordialblätter und Kotylen ergrünten in kurzer Zeit lebhaft. Nach 16 Tagen untersuchte ich einen Kotyledon und fand die unmittelbar unter der Epidermis gelegenen Parenchymzellen reichlich mit Chlorophyllkörnern gefüllt, die auf die früher angegebene Weise entstanden waren. Von den linsenförmigen Stärkekörnern, welche die Zellen des ruhenden Kotyledons grösstentheils erfüllen, findet man in dem bezeichneten Stadium nur mehr wenige in ursprünglicher Grösse vor, höchstens drei in einer Zelle, und erst jetzt fand ich diese mit einer ganz zarten, grünen Plasmahülle umgeben. Einige Tage später ist letztere bedeutend stärker entwickelt, das Stärkekorn aber kleiner geworden. Der Umfang dieses grünen Plasmagebildes stimmt ziemlich mit dem des ursprünglichen Stärkekorns, aus dem ersteres hervorgegangen, überein. In 30 Tagen endlich ist die Stärke ganz verschwunden und ein grosses Chlorophyllkorn, dessen Durchmesser 7mal grösser als der eines kleinen Chlorophyllkorns (hervorgegangen aus einem kleinen Stärkekorn) ist, nimmt nun die Stelle des früheren Stärkekorns ein.

Wenn diese grossen Chlorophyllkörner vollständig ausgebildet sind, so schrumpft der Kotyledon ein und löst sich von der Pflanze an. Ich untersuchte auch im diffusen Lichte ergrünte Erbsenkotylen, und fand in ihnen zur Zeit, wenn sie zu welken begannen, neben den kleinen Chlorophyllkörnern dieselben grossen grün gefärbten Plasmamassen, hie und da auch noch mit zurückgebliebenen Stärkeeinschlüssen.

Diese grossen Chlorophyllkörner in den Erbsenkotylen gelangen nie zu assimilatorischer Thätigkeit, da in der Zeit, wenn sie vollkommen ausgebildet sind, der Kotyledon zu Grunde geht; sie sind daher functionslose Chlorophyllkörner. Bemerkenswerth ist noch, dass das Plasma der Chlorophyllkörner (der kleinen und grossen) in den Kotylen der Erbse nie hyalin wird,

---

[1] Ich bemerke gleich hier, dass die meisten der von mir untersuchten Pflanzen im Gaslicht ergrünten, einem Lichte, in dem keine — mit unseren Mitteln erweisbare — Assimilation stattfindet.

es bleibt immer von körniger Beschaffenheit.[1] Ähnlich dem Vorgange in schon von Anfang an stärkehaltigen Kotylen ist die Entstehungsweise der Chlorophyllkörner dort, wo die Stärke erst während der Keimung vom Endosperm her in den Kotyledon geleitet wird.

Ich untersuchte Kotylen von *Polygonum Fagopyrum*, *Agrostemma Githago* und *Mirabilis Jalappa* und fand bei allen dreien dieselbe Entstehungsweise der Chlorophyllkörner, am klarsten jedoch bei *Agrostemma*, wesshalb ich sie auch an diesem Object näher beschreiben will.

Die Kotylen von *Agrostemma* enthalten im Ruhezustand gar keine Stärke; erst während der Keimung werden sie gefüllt mit aus 3—5 Theilkörnern zusammengesetzten Stärkekörnern, die aus dem Endosperm hergeführt wurden. Bei 9 Tage alten, im Dunkeln gezogenen Keimlingen sind die Kotylen intensiv gelb, die Parenchymzellen sind da noch gefüllt mit Stärke, die in einer gelb gefärbten, vollkommen hyalinen Plasmamasse eingebettet liegt. Einige solcher Keimpflanzen stellte ich nun ins Gaslicht (bei 19·5° C.), wo binnen 24 Stunden das Plasma grün wurde und zugleich die in demselben gelegenen Stärkekörner sich an Zahl beträchtlich verminderten, so dass man nun ohne Mühe sich einen klaren Einblick in das Innere der Zelle verschaffen konnte. Das grüne Plasma bildet bald einen Wandbeleg, der in sich den Rest von Stärkekörnern schliesst. Kurze Zeit darauf sammelt sich das Plasma um die Stärkekörnchen dichter an (besonders deutlich an den der Querschnittsfläche parallelen Wänden) und man findet dann die Wand bedeckt mit enge an einander liegenden Chlorophyllkörnern, welche je ein zusammengesetztes Stärkekorn einschliessen. Letzteres zerfällt nun innerhalb der Plasmahülle in seine Theilkörner, welche immer kleiner werden, bis endlich das Chlorophyllkorn ganz frei von Stärkeeinschlüssen ist. Mitunter geschieht der Zerfall der Stärkekörner noch bevor das Plasma sich um diese angesammelt hat; dann sieht man einen hyalinen, grün gefärbten Wandbeleg,

---

[1]) An dunkel gezogenen Kotylen der Erbse konnte ich leider keine genauen Beobachtungen machen, da alle unter diesen Verhältnissen längere Zeit gebliebenen Kotylen Fäulnissprocessen unterworfen waren.

in dem unregelmässig zerstreut Körnchen liegen, welche nach und nach verschwinden. Das Plasma zerfällt in diesem Falle sehr spät in Körner, ja selbst, wenn ich Pflanzen ins Sonnenlicht brachte und sie längere Zeit diesem aussetzte, liess die Segmentirung des hyalinen Wandbelegs tagelang auf sich warten. In den meisten Zellen combiniren sich beide Bildungsweisen; gewöhnlich sind die der Epidermis parallelen Wände mit hyalinem Plasma bedeckt, während die darauf senkrechten schon Chlorophyllkörner mit Stärkeeinschlüssen führen. Bemerkenswerth ist, dass die Stärke in einem solchen Chlorophyllkorn desto rascher verschwindet, in einem je intensiveren Lichte die Pflanzen ergrünten. Bleiben die Keimlinge im Dunkeln, so bedeckt gelbes, hyalines, von Stärkekörnchen durchsetztes Plasma die Wand; selten sammelt sich unter diesen Umständen das Plasma um die Stärke, Etiolinkörner mit Stärkeeinschlüssen bildend; meist tritt der Zerfall der Stärkekörner vor jeder Differenzirung des Plasma ein; erstere verschwinden und es bleibt der formlose Wandbeleg zurück, der sich entweder gar nicht mehr in Körner differenzirt oder, wenn dies geschieht — am Ende der Keimung — so haben die farblosen Plasmakörner die Fähigkeit zu ergrünen verloren, mag man auch die Kotylen den günstigsten Ergrünungsbedingungen ausgesetzt haben. Auch ausserhalb der Etiolinkörner findet man dann keine Stärke mehr vor. Diese Thatsache des Nichtergrünens des schon in Körner differenzirten Plasma kann ihren Grund entweder in Veränderungen des Plasma selbst in Folge des allzulangen Verbleibens der Pflanze im Dunkeln haben, oder in dem Umstande, dass das Material zur Bildung des Farbstoffes nicht mehr vorhanden ist. Letztere Annahme gewinnt an Wahrscheinlichkeit, wenn man bedenkt, dass auch jene Substanz, aus der das Chlorophyll hervorgeht, das Etiolin nämlich, von dem Zeitpunkte an, wo in einem Dunkelkeimling die Reservestoffe verbraucht sind, allmälig schwindet. Keimlinge, die man beständig im Dunkeln lässt, behalten hier nur so lange ihre intensiv gelbe Farbe, als noch Reservestoffe vorhanden sind. Sobald letztere aufgebraucht sind, verfärben sich die gelben Pflanzentheile, sie werden immer blässer und gehen natürlich früher oder später zu Grunde. Das Material zur Bildung des Etiolins fehlt, daher auch kein

Ergrünen mehr eintreten kann, da nach Wiesner's Untersuchungen die Entstehung des Chlorophylls das Vorhandensein des Etiolins voraussetzt.

Diese Ansichten werden noch gestützt durch Beobachtungen, die ich an den Kotylen von *Mirabilis* machte. Ich entfernte von einigen Embryonen das Endosperm und stellte diese ans Licht, daneben normale; während nun letztere schon binnen 8 Stunden mit freiem Auge sichtbar ergrünten, und nach längerem Verweilen im Lichte Chlorophyllkörner mit Stärkeeinschlüssen führten, ergrünten erstere erst nach 24 Stunden und da ganz schwach; Chlorophyllkörner fand ich niemals in ihnen.

Die in den Kotylen vorkommenden ganz geringen Stärkequantitäten reichten wohl noch zu einem schwachen Ergrünen aus, aber nicht mehr, da dies formlose Stärke ist, um das ergrünte Plasma in bestimmter Weise zu gestalten.

Wie bei *Agrostemma* entstehen auch bei *Polygonum* die Chlorophyllkörner; bei letzteren ist der Vorgang am leichtesten im hypokotylen Stengelglied zu verfolgen, das wohl nur schwach ergrünt, aber eben wegen der geringeren Zahl der Chlorophyllkörner deren Entwicklungsgang deutlicher hervortreten lässt; man kann an einem und demselben Präparat, ja selbst in derselben Zelle alle möglichen Entwicklungsstufen, vom ganz schwach grün gefärbten Stärkekorn bis zum echten Chlorophyllkorn verfolgen. Hier fand ich auch nicht selten an Dunkelkeimlingen farblose Chlorophyllkörner mit Stärkeeinschlüssen; ihr Entwicklungsgang ist derselbe wie bei ergrünten Chlorophyllkörnern, nur die Stärke erhält sich sehr lange im farblosen Plasmakorn; endlich ist sie daraus auch verschwunden, das Plasmakorn ergrünt aber nicht mehr.

Meist gehen jedoch Keimlinge, wenn sie so lange im Dunkeln bleiben, früher zu Grunde und lassen es zu einer vollkommenen Entstärkung gar nicht kommen, wie ich denn überhaupt an den hypokotylen Stengelgliedern aller Keimpflanzen beobachtete, dass in gewissen Gewebspartien, namentlich in der Umgebung der Gefässbündel, immer noch Stärke anzutreffen ist, selbst wenn das Wachsthum schon längst aufgehört hat; dieselbe wird nicht mehr weiter transportirt.

Aus diesen mitgetheilten Beobachtungen ist zu ersehen, dass in Stärkekörner führenden Kotylen erstere an der Bildung der Chlorophyllkörner wesentlich betheiligt sind. Das grüne, in einigen Fällen auch das farblose, respective gelbe Plasma legt sich an die Stärkekörner; diese verschwinden allmälig und es werden echte Chlorophyllkörner gebildet, welche ich ihrer Entstehungsart nach Stärkechlorophyllkörner nennen will.

Die Bezeichnung „falsches Chlorophyllkorn" dürfte nur dort passend sein, wo es zu nichts Weiterem als zu einer einfachen Umhüllung eines Stärkekorns mit ergrüntem Plasma kommt; in den vorliegenden Fällen aber, wo es nicht bei der Umhüllung stehen bleibt, sondern die Stärke verschwindet, während bei gleichzeitigem intensiverem Ergrünen die plasmatische Substanz immer weiter vordringt und endlich ein echtes Chlorophyllkorn gebildet wird, könnte man höchstens mit dem Ausdrucke „falsches Chlorophyllkorn" das erste Entwicklungsstadium eines Stärkechlorophyllkornes bezeichnen.

II.

Weitaus die Mehrzahl aller Samen enthält im Ruhezustand keine Stärke, sondern nur Fett und Aleuronkörner als Reservesubstanz.[1] Während der Keimung erst geht ein Theil des Fettes, wie Mohl schon nachgewiesen, in Stärke über; in einigen Fällen organisirt sich dann letztere in den Kotylen zu vollkommen ausgebildeten, einfach oder zusammengesetzten Stärkekörnern *(Lupinus, Soja, Trifolium, Impatiens, Coniferen etc.)* Bei anderen hingegen bleibt die Stärke im Kotyledon feinkörnig im Plasma vertheilt und hier ist dann ein directer Nachweis derselben (mit wässeriger oder alkoholischer Jodlösung) nicht mehr möglich; in den Blattstielen solcher Kotylen, sowie in den hypokotylen Stengelgliedern trifft man jedoch jederzeit organisirte Stärke an.

Die im ersten Abschnitte angeführten Beobachtungen, denen zu Folge in schon von Anfang an stärkehaltigen Kotylen

[1] Nägeli untersuchte die Samen von 264 phaner. Familien; und fand nur bei 56 Fam. erstere stärkehaltig. Siehe Nägeli und Cramer, Botanische Untersuchungen.

das Stärkekorn zur Differenzirung des Plasma in einiger Beziehung stehen kann, machte eine gleiche Entstehungsweise der Chlorophyllkörner in Kotylen, in denen die Stärke erst während der Keimung entsteht und sich zum Stärkekorn organisirt, wahrscheinlich.

Die Untersuchung ergab thatsächlich für alle diese Kotylen ein diese Vermuthung bestätigendes Resultat. Übrigens hatte auch Haberlandt an den Kotylen der Lupine beobachtet, dass hier echte Chlorophyllkörner aus falschen entstehen und dann verweise ich auf die Eingangs dieser Arbeit erwähnten Angaben Hartig's über die Entstehung des Chlorophylls, besonders in Coniferenkeimlingen, welche theilweise auf richtiger Beobachtung beruhen.

Erwähnenswerth ist die Entstehung der Chlorophyllkörner in den Kotylen der Coniferen. Bekanntlich hatte Sachs die interessante Thatsache aufgefunden, dass die Keimpflanzen der Coniferen im tiefsten Dunkel ergrünen; und Wiesner machte die ebenso interessante Beobachtung, dass bei jeder reichen Aussaat von Coniferensamen immer ein gewisser Percentsatz etiolirter Keimlinge vorkommt.[1]

Ich überzeugte mich, dass in solchen etiolirten Keimlingen ebenso wie bei im Dunkeln aufgezogenen Angiospermen Etiolinkörner die Stelle der Chlorophyllkörner vertreten; ihre Entstehungsart ist gleich der, im Folgenden für die Chlorophyllkörner beschriebenen.

Zur Beobachtung dienten mir Kotylen von *Pinus silv.*, *P. nigricans*, *P. Picea*, *Abies excelsa* und *Thuya orientalis*.

Ist das Würzelchen des Keimlings 3—4^{mm} lang, so ist letzterer wohl schon blassgrün gefärbt, doch ist eine Untersuchung für unsere Zwecke in diesem Entwicklungszustand unmöglich, da alle Gewebe mit Fetttröpfchen, Stärkekörnchen und in Auflösung befindlichen Proteinkörnern derart gefüllt sind, dass in Folge der dadurch verursachten Trübung der Präparate klare Bilder man sich nicht verschaffen kann. Am geeignesten sind die Pflänzchen zur Beobachtung, wenn sie beiläufig 20 Tage alt sind (vom Tage der Keimung an gerechnet); in diesem Alter

[1]) Entstehung des Chlorophylls, pag. 118.

findet man besonders im hypokotylen Stengelglied, das eine blassgrüne Farbe besitzt, Chlorophyllkörner der verschiedensten Entwicklungsstadien, u. zw. sind die in dem unmittelbar unter der Epidermis gelegenen Parenchym bereits vollständig ausgebildet, während weiter nach Innen zu die ersten Entwicklungsstufen leicht zu beobachten sind. Einige Zellen sind noch ganz gefüllt mit einfachen und zusammengesetzten Stärkekörnern, die enge an einander gelagert im farblosen, hyalinen Plasma eingebettet sind. Letzteres ergrünt bald, ein Theil der Stärkekörner verschwindet und um die zurückgebliebenen ballt sich das grüne Plasma, falsche Chlorophyllkörner bildend. War das Stärkekorn ein zusammengesetztes, so tritt bald dessen Zerfall in seine Theilkörner ein, die nun mit zunehmendem Alter des Keimlings stets kleiner werden und endlich ganz verschwinden; dabei ergrünt das Plasma ziemlich intensiv. Dies geschieht alles im Dunkeln, und ich hebe besonders die Thatsache hervor, dass wir hier, bei vollkommenen Ausschluss von Licht, Chlorophyllkörner mit Stärkeeinschlüssen antreffen.

Wenn daher gegen meine, an den übrigen Kotylen gemachten Beobachtungen der Einwand erhoben werden könnte, dass bei dem Ergrünen der Versuchspflanzen die Lichtintensität denn doch im Stande gewesen wäre, Assimilation anzuregen, und dieser die Stärkeeinschlüsse zuzuschreiben wären — (dem wohl die Thatsache widerspricht, dass im selben Lichte die Einschlüsse verschwinden, aber keine neuen mehr gebildet werden) — so muss dieser Vorwurf im vorliegenden Falle a priori wegfallen, da bei absolutem Lichtmangel an eine Assimilation nicht zu denken ist.

Die Chlorophyllkörner in den hypokotylen Stengelgliedern der Coniferen sind meist wandständig; sehr deutlich kann man an ihnen sehen, dass sie noch von farblosem Plasma umgeben sind; letzteres wird aber schliesslich auf eine beinahe unsichtbare Schichte reducirt.

In den Kotylen selbst ist der Vorgang der Chlorophyllkornbildung schwieriger zu verfolgen, da es lange Zeit dauert, bis die daselbst vorhandenen Reservestoffe der Hauptmasse nach aufgebraucht sind; die Entstehungsweise ist hier dieselbe wie die in den Kotylen von *Polygonum* oder *Agrostemma* beobachtete.

Im grünen Plasma sind ganz kleine Stärkekörnchen eingestreut, welche entweder vor der Differenzirung des Plasma in Körner verschwinden oder bis dahin erhalten bleiben, und dann in den aus dem Wandbeleg hervorgehenden Chlorophyllkörnern wiederzufinden sind.

In etiolirten Coniferenkeimlingen, wo, wie schon oben erwähnt, Etiolinkörner mit Stärkeeinschlüssen vorkommen, erhält sich die Stärke sehr lange; die Keimlinge gehen in der Regel früher zu Grunde, bevor die ganze Stärke in- und ausserhalb der Etiolinkörner aufgebraucht ist.

Es wäre nun noch die Bildungsweise der Chlorophyllkörner an solchen Kotylen zu betrachten, die nur feinkörnige Stärke führen, ohne dass sich letztere zu deutlichen Stärkekörnern organisirt. Hieher gehören die Kotylen von *Lepidium*, *Linum*, *Raphanus*, *Cucurbita*, *Helianthus* etc. An diesen studirte Sachs die Entstehung der Chlorophyllkörner; seine Beobachtungen ergaben, dass zur Zeit, wenn die Gewebe des Kotyledons weder Fetttropfen noch Proteinkörner enthielten ein ziemlich dicker, gelber Plasmabeleg die Wand überzieht. Dieser zerfällt, wenn die Pflanze im Dunkeln bleibt, am Ende der Keimung in einzelne gelbe Körner, indem sich gelb gefärbtes Plasma um gewisse Anziehungspunkte ansammelt. Ergrünen die Kotylen, so ergrünt zuerst das Wandplasma, und differenzirt sich erst dann in Chlorophyllkörner.

Dieser von Sachs beschriebene Vorgang geht in den Pallisadenzellen genannter Kotylen in der That so vor sich; in den übrigen Mesophyllzellen (Kresse, Kürbis) traf ich aber Chlorophyllkörner, denen eine andere Entstehungsweise zukömmt, die möglicherweise wieder mit Stärkekörnchen in Verbindung zu bringen ist.

In den auf der Unterseite des Kotyledons gelegenen Parenchymzellen kommen (wenn die Keimlinge dunkel gezogen wurden) Etiolinkörner vor, die 1—3 ganz kleine, nur mit den stärksten Objectiven sichtbare Körnchen als Einschlüsse enthalten. Bei Untersuchung noch jüngerer Keimpflanzen findet man das Plasma in den oberwähnten Gewebselementen netzförmig vertheilt und den Plasmafäden hie und da kleine Körnchen eingelagert, um welche sich eine anfangs schwach,

später aber deutlich contourirte Plasmasphäre ausbildet, die, wenn die Pflanze ans Licht kommt, ergrünt. Im ergrünten Plasmakorne konnte ich diese Körnchen nicht mehr auffinden; auch im farblosen Chlorophyllkorn verschwinden sie, erhalten sich aber durch verhältnissmässig lange Zeit.

Über die chemische Natur dieser Körnchen lässt sich nichts Bestimmtes angeben; die gewöhnliche Stärkereaction mit Vorbehandlung von Kali und Essigsäure konnte hier nicht angewendet werden, da diese Reagentien Veränderungen im Zellinhalt hervorbringen, denen zufolge die ursprünglichen Structurverhältnisse gänzlich vernichtet werden.

Um kleine Stärkemengen, insbesonders im Chlorophyllkorn nachzuweisen, wende ich mit Erfolg verdünnte Chlorzinkjodlösung an, die momentan die vorhandenen Stärkekörner blau färbt, auch wenn dieselben von einer Plasmaschicht umgeben sind. Mit diesem Reagens nun nahmen die fraglichen Körnchen eine schwach blaue Farbe an, doch keineswegs eine solche, um daraus einen sicheren Schluss auf ihre Stärkenatur ziehen zu können.

In den Pallisadenzellen geht die Bildung der Chlorophyllkörner in der von Sachs beschriebenen Weise aus dem hyalinen Wandbeleg vor sich. Ich will solche, direct aus dem Plasma ohne sichtbare Intervention von Stärkekörnern entstandenen Chlorophyllkörner Plasmachlorophyllkörner nennen. Der Vorgang der Differenzirung des Plasma in Körner geht sowohl im Dunkeln als im Lichte vor sich, im letzteren Medium allerdings, wie Sachs angibt, rascher, was auch meine Beobachtungen bestätigen. Im Dunkeln zerfällt das Wandplasma erst am Ende der Keimung.

Um nun diesen beschleunigenden Einfluss des Lichtes auf die Segmentirung des Plasma näher kennen zu lernen, liess ich zunächst Kressekeimlinge, die noch einen hyalinen Wandbeleg in den Pallisadenzellen führten, in verschiedenfarbigem Lichte ergrünen, um zu sehen, ob die Brechbarkeit des Lichtes in irgend einer Beziehung zu diesem Vorgange stehe.

Die Beobachtungen ergaben, dass die Brechbarkeit die Differenzirung des Plasma in Körner nicht beeinflusse. Anders verhält es sich mit der Intensität. Ich hatte Kressekeimlinge in

den Entfernungen 40 Cm., 2 M. und 4 M. von der Gasflamme stehen. Die 40 Cm. weit entfernten Kotylen führten um 24 Stunden früher Chlorophylkörner als die 2 M. entfernten und bei 4 M. ergrünte wohl das Plasma, verhielt sich aber bezüglich der Segmentirung in Körner wie im Dunkeln. Ich wiederholte diesen Versuch einige Male mit Kressekeimlingen und immer mit demselben Erfolg, so dass man wohl den Satz aussprechen kann: Die Differenzirung des Wandplasma in Körner tritt desto früher ein, einem je intensiveren Lichte die Pflanzen ausgesetzt sind.

Bezüglich der Etiolinkörner bemerke ich nur, dass diese an Grösse zunehmen, dass dieses Wachsthum mit Erhöhung der Temperatur intensiver wird und dass sie sich ebenso wie Chlorophyllkörner durch Theilung vermehren können. Befremdend können diese Thatsachen nicht sein, da die Etiolinkörner gleich den Chlorophyllkörnern lebende Plasmagebilde sind.

Während in den Kotylen von Kresse, Lein etc. nur feinkörnige Stärke vorkommt, findet man in den Kotyledonarstielen und den hypokotylen Stengelgliedern deutliche Stärkekörner; diese ergrünen, wenn auch nur schwach, und bilden auf die schon früher beschriebene Weise mit fortschreitender Entwicklung des Keimlings Chlorophyll-, respective Etiolinkörner, die in der Regel wandständig sind. In diesem Falle ist der Zellkern auch immer wandständig; seltener ist er central, und dann in gelbgefärbtes Plasma eingehüllt, in welchem Stärkekörner liegen und das sich später in Stärkechlorophyllkörner differenzirt. Der Kern bleibt dann von den Chlorophyllkörnern kranzförmig umgeben. Ich werde auf diese Entstehungsweise der Chlorophyllkörner später noch zurückkommen, und habe daher hier nur den Vorgang in Kürze beschrieben.

Aus allen diesen Beobachtungen ergibt sich, dass in Kotylen, die im Keimungsstadium Stärkekörner führen, die Chlorophyllkörner in der Regel durch Umhüllung eines Stärkekornes mit gefärbtem Plasma entstehen; dies geschieht im Lichte rascher als im Dunkeln; im ersteren Medium geht auch die Stärke aus dem Stärkechlorophyllkorne viel früher verloren. Ausser diesen Chlorophyllkörnern, deren Entstehungsart mit dem Stärkekorn in directer Beziehung steht, kann ein Theil des grün, eventuell gelb gefärbten Plasma ohne Mitwirkung von

Stärkekörnern sich segmentiren und Plasmachlorophyllkörner bilden. Gewöhnlich combiniren sich bei stärkehaltigen Kotylen beide Entstehungsarten; in Kotylen, die jedoch feinkörnige Stärke führen, werden wenigstens in den Pallisadenzellen, nur Plasmachlorophyllkörner gebildet.

III.

Beobachtungen an Primordialblättern.

Von Sachs wurde festgestellt, dass in den Pallisadenzellen der Primordialblätter der Bohne das Plasma früher ergrünt, und dann erst in Körner zerfällt. Dasselbe gilt von den Primordialblättern von *Vicia Faba, V. sativa, Pisum sat.* und *Ervum Lens*, und gewiss noch von vielen anderen. In allen diesen Fällen führen also die Pallisadenzellen Plasmachlorophyllkörner. Anders verhält sich wieder die Sache in den an der Unterseite des Blattes liegenden Mesophyllzellen.

Sachs bemerkt, dass bei der Entfaltung des Blattes der Bohne letztgenannte Gewebspartie Stärke führt, während die an der Oberseite gelegenen Pallisadenzellen nie Stärke führen; doch sind letztere nicht absolut stärkelos, ich fand in ihnen, wenn auch nur in unbedeutenden Quantitäten formlose Stärke, welche übrigens auch ziemlich schwierig nachzuweisen ist, so dass man die erst nach längerer Zeit eintretende Blaufärbung (bei Anwendung der Jodreaction) leicht übersehen kann.

Übereinstimmend mit meinen an den Kotylen gemachten Beobachtungen finde ich in den unteren Mesophyllzellen Stärkechlorophyllkörner. Bei der Entfaltung des Blattes sind die Stärkekörner mit schwach gelbem, bald aber grün werdendem Plasma überzogen. Untersucht man nun das Blatt in den verschiedensten Altersstufen, so sieht man die Stärke allmälig schwinden und endlich gewöhnliche, stärkeleere Chlorophyllkörner, die übrigens bei weitem nicht so intensiv grün gefärbt sind, als jene der Pallisadenzellen.

Was die Lage dieser Chlorophyllkörner betrifft, so sind sie meist wandständig, theils continuirlich neben einander liegend, theils zu einzelnen Gruppen vereinigt.

Bemerkenswerth ist noch die Entstehung der Chlorophyllkörner in den Blattstielen und Stengeln genannter Keimpflanzen. Beide sind reich an Stärke, deren Menge gegen die Peripherie des Organs zu abnimmt. Von der Vertheilung der Stärke wird auch die Ausbildung der Chlorophyllkörner abhängen: zu äusserst echte Chlorophyllkörner, und je weiter nach innen zu, desto zahlreicher werden die Stärkeeinschlüsse in den Chlorophyllkörnern, bis man endlich nur auf grün gefärbte Stärkekörner stösst. Letztere sind entweder in einer wandständigen Plasmaschicht eingebettet, oder, was ich besonders in Blattstielen häufig beobachtete, sie liegen in einer den centralen Zellkern umgebende, hyalinen grün, eventuell gelb gefärbten Plasmamasse, die mit dem in der Regel dann schwach entwickelten Wandplasma durch mehrere Stränge verbunden ist. In dieser centralen Plasmamasse ist nun eine grössere oder kleinere Zahl von Stärkekörnern eingestreut; um diese sammelt sich das Plasma, Stärkechlorophyllkörner bildend. Selbstverständlich bleibt ein Theil des Plasma (wie in allen übrigen Fällen) als farblose Grundmasse zurück. Die Chlorophyllkörner behalten die Lage um den Kern, die die Stärkekörner inne hatten und man bekömmt dann mitunter Zellen zu Gesicht, in denen der centrale Zellkern von einer Anzahl Chlorophyllkörner kranzförmig umgeben wird. Nun geschieht es nicht selten, dass der Zellkern aufgelöst wird, und die unter ihm liegenden Chlorophyllkörner der Beobachter zu Gesichte bekommt. In einem solchen Falle findet man in der Mitte der Zelle an Stelle des Zellkerns und der ihn früher einhüllenden Plasmamasse eine Gruppe Chlorophyllkörner, die alle aus falschen Chlorophyllkörnern hervorgegangen sind.

Im Dunkeln geht die Differenzirung des Plasma um die Stärkekörner entweder sehr spät oder gar nicht vor sich, im Lichte hingegen sehr rasch, nachdem aber immer zuvor das Plasma ergrünt ist.

Manchmal fand ich auch in den von dem centralen Plasma zum Wandplasma gehenden Fäden gleich von Anfang an kleine Stärkekörnchen, um die herum das Plasma ergrünt. Diese Entstehungsart stimmt in vieler Hinsicht mit der in den Mesophyllzellen formlose Stärke enthaltenden Kotylen überein.

Aus einer centralen Plasmamasse entstehende Stärkechlorophyllkörner fand ich ausser in den bezeichneten Keimpflanzen noch an schwach ergrünten im Lichte gezogenen Kartoffeltrieben. An Primordialblättern von Monokotyledonen studirte ebenfalls Sachs die Entstehung der Chlorophyllkörner. Bei Mais z. B. fand er dieselben Verhältnisse wie in den Kotylen von *Helianthus, Cucurbita.* Das gelb, eventuell grün gefärbte Wandplasma zerfällt in dicht an einander liegende Körner; dies geschieht schon zu der Zeit, wenn das Blatt die Scheide durchbricht; der Zerfall in Etiolinkörner wird auch hier, wie bei den Kotylen durch den Ausschluss von Licht verzögert. In den Etiolinkörnern, manchmal auch in den ganz jungen Chlorophyllkörnern, kommen Körncheneinschlüsse vor, von derselben zweifelhaften Beschaffenheit wie in den unteren Mesophyllzellen der Kresse. In dem den Gefässbündel zunächst liegenden Parenchymzellen findet man aber deutliche Stärkekörner, die sich mit gelben, respective grünen Plasmahüllen umgeben; sie sind aus 4—6 Theilkörnern zusammengesetzt, und sollen nach Sachs das Resultat einer assimilatorischen Thätigkeit der Chlorophyllkörner sein.

Sachs spricht sich über diese Stärke und Chlorophyllkörner folgendermassen aus (l. c.pag. 369): „An etiolirten und nachher ergrünten Pflanzen eines Entwicklungsstadiums, in dem die im Finstern fertig gekeimten Pflanzen vollständig entfaltete Laubblätter besitzen und zu wachsen aufhören, zeigen sich die Chlorophyllkörner nicht nur grün und bedeutend vergrössert, sondern es findet sich in ihnen auch schon ein wenig Amylum, jedoch nur in den Zellen, welche das Gefässbündel der Lamina unmittelbar umgeben.“ Wie ich mich jedoch überzeugte, ist die Stärke in diesen Zellen auch schon bei Dunkelkeimlingen vorhanden; lässt man nun letztere in einem Lichte, von dem man weiss, dass seine Intensität zu schwach ist, um Assimilation einzuleiten, zum Ergrünen aber vollkommen ausreicht, so ergrünt das Plasma um diese Stärkekörner; es werden Chlorophyllkörner mit Amyluminschlüssen gebildet, welche primär sind und nicht das Product der Lebensthätigkeit der Chlorophyllkörner sein können, weil ja überhaupt keine Chlorophyllkörner früher da gewesen waren.

Interessant sind die Formen der Etiolinkörner in den Primordialblättern des Weizens und Hafers. Ausser runden und polygonalen Formen kommen daselbst noch elliptische, an beiden Enden in die Länge gezogene, vor. Im Lichte gehen sie in runde Formen über.

Hartig gibt in seiner Anatomie eine Abbildung von Stärkekörnern aus der keimenden Haferpflanze, die ebenfalls eine solche elliptische, an dem Ende spitzig ausgehende Gestalt besitzen.[1] Ich konnte solche Stärkekörner aber nicht beobachten.

IV.

Schliesslich will ich noch einige an jungen Vegetationsblättern gemachte Beobachtungen mittheilen. Es wurden von mir noch von den Knospendecken eingehüllte Blätter von *Aesculus, Acer, Ribes, Salix, Populus, Tilia* untersucht. Bekanntlich sind jene in diesem Alter blassgrün oder gelblich weiss gefärbt. Chlorophyllkörner trifft man nicht an, sondern nur hyalines, schwach tingirtes Wandplasma, in dem hie und da ein Stärkekörnchen liegt. Bei weiterer Entwicklung des Blattes ergrünt das Plasma, die Differenzirung in Chlorophyllkörner tritt aber erst ein, nachdem das Blatt die Knospe durchbrochen hat.

Andere Verhältnisse finden wir bei jungen Coniferenblättern. Diese werden, so lange sie in frühen Entwicklungsstadien stehen, durch eine intensiv gelbe Farbe, die sich äusserst langsam (erst nach Verlauf mehrerer Wochen) in ein deutliches Grün umwandelt, charakterisirt. Untersucht man die Blätter in diesem Alter, so findet man die Mesophyllzellen mit dicht aneinander liegenden polygonalen Stärkekörnern gefüllt, die in einer gelbgefärbten plasmatischen Grundmasse liegen. Letztere ergrünt und sammelt sich um einzelne Stärkekörner an, die innerhalb der Plasmahülle gleichzeitig mit deren intensiverem Ergrünen an Grösse abnehmen.

Junge Blätter von *Hedera Helix, Mercurialis perennis, Chrysanthemum* sp., alle von mir untersuchten Farrenblätter *(Pteris,*

---

[1]) Hartig's Anatomie und Phsiologie der Holzpflanzen, Berlin 1878, pag. 112.

Asplenium) führen reichlich Stärke in Körnerform, betreffs der Entstehung der Chlorophyllkörner verhalten sich solche Blätter wie stärkehaltige Kotylen; in der Blattlamina geht der Process ebenso wie in den Kotylen von *Polygonum* oder *Agrostemma* vor sich; neben fertigen Chlorophyllkörnern, hervorgegangen aus falschen Chlorophyllkörnern, bedeckt grünes, hyalines Plasma die Wand, das sich entweder gar nicht oder sehr spät in Plasmachlorophyllkörner differenzirt. Die Blattstiele führen ausnahmslos Stärkechlorophyllkörner.

Alle diese mitgetheilten Beobachtungen weisen darauf hin, dass in ergrünungsfähigen Pflanzentheilen, die Stärke in Körnerform führen, das Stärkekorn bei der Differenzirung des Plasma in Chlorophyllkörner eine nicht unbedeutende Rolle spielt.

Um das Stärkekorn legt sich gefärbtes oder farbloses Plasma; innerhalb der Plasmahülle wird das Stärkekorn immer kleiner; war es zusammengesetzt, so zerfällt es früher in seine Theilkörner, zwischen die einzelnen Stärkekörnchen schiebt sich nun Plasma ein, erstere werden immer kleiner und sind endlich ganz verschwunden.

Diese Vorgänge, sowohl das Differenziren des Plasma, indem es sich um ein Stärkekorn sammelt, als auch das Zurücktreten der Stärke innerhalb der Plasmahülle, verlaufen im Licht ungemein rasch, im Dunkeln hingegen sehr langsam; ja sehr häufig kommt es dort trotz Vorhandensein von Stärke zu keiner Segmentirung des Plasma, dieses bleibt formlos.

Im Hinblick auf diese Thatsachen und insbesondere auf den Umstand, dass im Lichte die Stärkeeinschlüsse des Stärkechlorophyllkorns rasch verschwinden, sowie dass Kotylen, in denen die Stärke schon vollständig aufgebraucht ist, nicht mehr ergrünen, gewinnt die anfangs angeführte, von Wiesner ausgesprochene Ansicht über die Bedeutung der Kohlenhydrate bei der Bildung des Chlorophylls immer mehr an Gewissheit. Steht nun wirklich die Stärke im Stärkechlorophyllkorn in genetischem Zusammenhang mit der Chlorophyllbildung, so entsteht die Frage, wie in Pflanzentheilen oder Gewebspartien, die auch

ergrünen und Chlorophyllkörner bilden, in denen aber entweder gar keine Stärke oder nur feinkörnige ausserhalb des schon differenzirten Plasma sich nachweisen lässt, das farblose Chlorophyllkorn ergrünt?

Auf Grund meiner Beobachtungen lässt sich diese Frage nicht bestimmt beantworten, doch ist anzunehmen, dass die Bildung des Farbstoffs nicht nothwendig an die im Chlorophyll- oder Etiolinkorn vorkommende Stärke gebunden ist oder, da in gewissen Gewebspartien die Stärke ganz fehlt, dass auch Reservestoffe anderer Zusammensetzung die Chlorophyllbildung bedingen können.

Mulder glaubte auf Grund seiner und Mohl's Beobachtungen annehmen zu müssen, dass eine directe Umwandlung des Stärkekorns in das Chlorophyllkorn stattfinde.

Mulder's Ansicht widerlegte Mohl, indem er darauf hinwies, dass die Grundsubstanz des Chlorophyllskorns ein in den Reactionen mit dem Protoplasma übereinstimmender Körper ist. Und wenn dies auch die richtige und heute allgemein angenommene Ansicht ist, so darf man Mulder's Annahme durchaus nicht als unsinnige bezeichnen; denn Mulder hatte einerseits seine Hypothese, befangen in den Anschauungen seiner Zeit und den zu einem solchen Schlusse sehr verlockenden Beobachtungen zu Folge ausgesprochen, und andererseits wäre ja die Möglichkeit der Bildung eines Eiweiskörpers aus einem Kohlenhydrat unter Hinzutreten einer stickstoffhältigen Verbindung nicht ganz ausgeschlossen, zumal es ja pflanzliche Organismen gibt, die ebenfalls aus einem Kohlenhydrat (Zucker) und einem stickstoffhaltigen Salz Eiweisskörper bilden (Hefe).

An der Hand der beobachteten Thatsachen allein lassen sich bezüglich der Entstehung der Chlorophyllkörner folgende Punkte aufstellen:

1. In allen jungen mit Stärkekörnern gefüllten Organen entstehen die Chlorophyllkörner durch Umhüllung eines Stärkekorns mit grünem, respective gelbem Plasma; innerhalb der Plasmahülle geht eine allmälige Auflösung der Stärke vor sich, der, wenn das Stärkekorn ein zusammengesetztes war, ein Zerfall in seine Theilkörner vorangeht. Die auf diese Art entstandenen Chlorophyllkörner nenne ich Stärkechlorophyllkörner.

2. Die Stärkechlorophyllkörner sind in der Regel wandständig; nur in Blattstielen der Primordialblätter, sowie in jungen Stammorganen entstehen sie öfters aus einer den centralen Zellkern einhüllenden Plasmamasse.

3. Die Stärkechlorophyllkörner sind im ausgebildeten Zustande functionsfähig; sie assimiliren und vermehren sich durch Theilung; nur eine Ausnahme machen die in den Kotylen der Erbse vorkommenden grossen Chlorophyllkörner, an denen ich nie Lebensthätigkeiten beobachten konnte.

4. Kommt keine Stärke in Körnerform im Gewebe vor, so entstehen die Chlorophyllkörner auf die schon von Sachs beschriebenen Weise durch Zerfall des hyalinen plasmatischen Wandbelegs in einzelne grüne, eventuell gelb gefärbte Partien; ich nenne diese direct aus dem Plasma, ohne sichtbare Mitwirkung eines Stärkekorns hervorgehenden Chlorophyllkörner, Plasmachlorophyllkörner. Die Differenzirung des Plasma geht sowohl im Licht als im Dunkeln vor sich; wird jedoch im ersteren beschleunigt, und zwar innerhalb bestimmter Grenzen desto mehr, je grösser die Intensität des Lichtes ist.